

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 025602 (296-303)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 025602 (296-303)

DOI: 10.35414/akufemubid.667560

Araştırma Makalesi / Research Article

## Rijitleştirme Levhalı Sıvı Depolama Tankının Yapısal Davranışının Dalga Yükü Altında İncelenmesi

Mehmet Erkan EFE <sup>1\*</sup>, İlyas Devran ÇELİK<sup>2</sup>, Tevfik Burak KOCAMAN<sup>3</sup>, Kılıç Yasin ARSLAN<sup>4</sup><sup>1,2,3,4</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta.Sorumlu Yazar e-posta: <sup>1</sup>mefe3234@gmail.comORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-8198-9997><sup>2</sup>devrancelik@sdu.edu.trORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9011-4041><sup>3</sup>t.burakkocaman@gmail.comORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6658-3558><sup>4</sup>kyarslan92@gmail.comORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6658-3558>

Geliş Tarihi: 30.12.2019

Kabul Tarihi: 08.04.2020

### Öz

Endüstriyel alanda sıkça yer bulan depolama yapıları, kullanıldıkları amaca göre değişken geometri, taşıyıcı sistem ve yapı malzemesine sahip olup silo olarak isimlendirilmektedir. Sıvı depolama için tasarlanan silo tipi yapılarda silindirik tasarım ve çelik konstruksiyon tercih edilmektedir. Sıvı depolama amacıyla inşa edilen bir yapı, depolanan maddeye, sıvı yüzeyinde oluşabilecek dalga kuvvetine ve sıvının silo cidarına yapmakta olduğu hidrostatik basınç dikkate alınarak dizayn edilmektedir. Bu kapsamda silo taşıyıcı sisteminin yatay yönde etkiyen ve yüksekliğe bağlı artan gerilme değerleri altında yeter rijitlikçe çalışması gerekmektedir. Ayrıca, yapı duvarlarından birçok değişkene bağlı olan dalga yükünde karşılaşılması istenmektedir. Literatürde, dinamik etki altında göçme durumuna gelmiş silo tipi yapılar incelendiğinde; genellikle silo yapısının depolamakla görevli olduğu maddenin dinamik etki altındaki davranışına bağlı olarak yapı rijitliğinin ve periyodunun etkilendiği vurgulanmıştır. Yapı özelliklerinde meydana gelen bu değişimin yapının göçme moduna gelmesine sebep olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, 12.5m çapında ve 12m yüksekliğinde tasarlanan sıvı depolama tankının dalga yükü altındaki davranışı incelenecektir. Dalga yükü etkisinde silo duvarında oluşabilecek gerilme ve deformasyon etkilerini sönmölemek amacı ile dikey ve yatay rijitleştirme levhaları kullanılmıştır. Tasarlanan yapı Ansys WB sonlu elemanlar programı kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına dayanılarak, rijitleştirme levhalarının yapı davranışına etkisi incelenmiştir. Levhaların birlikte kullanılmasının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

### Anahtar kelimeler

Dinamik Analiz; Silo;  
Sonlu Elemanlar;  
Hidrostatik Basınç;  
Dalga kuvveti

## Investigation of Structural Behavior of Liquid Storage Tank with Stiffening Plates under Wave Load

### Abstract

Storage structures, which are frequently found in the industrial areas, have variable; geometry, carrier system and building material according to their purpose of use. In liquid storage structures, cylinder designed steel silo constructions are quite common. A structure built for liquid storage is designed according to the stored mass, hydrostatic pressure and the wave load within the silo wall. In this case, the silo carrier system needs to operate sufficiently rigid under the horizontal and vertical stresses. Also, under the wave forces, it is desirable from walls, to be able to carry the wave load that varies depending on the mechanical properties of the liquid stored inside. In the literature; When the silo type structures that are collapsed under dynamic excitation effects are examined; it was emphasized that the behavior of stored material under the dynamic excitation; has affected, rigidity and period of the structure. This situation in the structure period and behavior has been shown to cause the structure to fail. In this study, behavior of a liquid storage tank designed with 12.5m diameter and 12m height is investigated under wave loads. Vertical and horizontal stiffening plates are used to dampen the stress and deformation effects that may occur on the structure wall due to wave load. The designed structure is analyzed using Ansys WB program. Based on the results of the analysis, the contribution of the stiffening plates to the behavior is examined. It has been seen that use of plates together has given better results.

### Keywords

Dynamic Analysis; Silo;  
Finite Element Model;  
Hydrostatic Pressure;  
Wave force

## 1. Giriş

Endüstriyel alanda sıkça yer bulmakta olan silo tipi yapılar sıvı ve katı materyal depolanmasında kullanılmaktadır. Bu yapıların geometrileri ve taşıyıcı sistem tasarımları depolanması planlanan materyale göre değişiklik gösterebilmektedir (Özel 2007). Depolanan materyal yapıda yatay, dikey ve hidrostatik basınç etkileri oluşturmaktadır. Tank içerisinde meydana gelebilecek etkilerin en önemlilerinden biri sıvı çalkantısıdır. Sıvı çalkantısı, hava veya deniz taşıtlarındaki yakıt veya sıvı tankları, dinamik etki altındaki sıvı depolama tankları gibi çeşitli dinamik sistemlerde mühendislik problemleri oluşturabilmektedir. Bu sistemlerin dinamik davranışı genellikle sıvı serbest yüzeyinin dinamiğine bağlı olmaktadır. Bu sebeple, bu tür sistemlerin güvenliği insan hayatı, çevre ve taşımacılık açısından önem taşımaktadır. Tam dolu olmayan tanklarda, tankın hareket periyodu tankın doğal titreşim periyoduna yaklaştığında, çalkalanma etkisi başlamaktadır. Bu sebeple, çalkalanma hareketinin başlayacağı periyot değerlerinin belirlenmesi önemlidir. Depolama tanklarında çalkantı hareketinin periyotlarında büyük yapısal yükler meydana gelebilmektedir. Çalkantı hareketi serbest sıvı yüzeyinin bulunduğu her tankta meydana gelebilir. Tankın şekli ve dağılıma bağlı olarak serbest sıvı yüzeyi; simetrik, asimetrik, rasgele çarpışmalar, yarı periyodik ve kaotik gibi birçok şekli alabilir. Çalkantı hareketinin genliği tank hareketinin frekansına (periyodu) ve genliğine, sıvı derinliğine, sıvının mekanik özelliklerine ve tank geometrisine göre değişkenlik gösterebilmektedir. (Akyildiz et al. 2012).

Tank içerisindeki sıvı hareketinin sonsuz sayıda doğal frekansı bulunmaktadır ama birkaç tank hareketinin mod frekansları sıvının bu doğal frekansına ulaşması için yeterlidir. Ancak, non-lineer etkiler doğal frekanstan farklı değerlerde oluşmakta ve hareketin genliğine bağlıdır. Meydana gelen zorlamanın frekans ve şekli, sıvı serbest yüzeyinin dinamik davranışını etkilemektedir. Bu kapsamda; tank hareketinin periyodunun, sıvı doğal çalkantı periyoduna yaklaştığı durumlarda büyük çalkantı genlikleri beklenebilmektedir. Bu durumda bu iki

periyot birbirlerine yeterince yaklaşırlarsa çalkantı hareketi başlayacaktır. Serbest sallanma hareketi altında, serbest sıvı yüzeyinin hareketi viskozite kuvvetlerince bozulmaktadır. Sönüm oranı esasen; sıvı yüksekliğine, sıvının kinematik viskozitesine ve tank boyutlarına bağlı olabilmektedir (Akyildiz and Unal 2014, Biswal et al.2006, Raouf 2005).

Bu tür yapılar için gerçekleştirilen deneyler; tank içindeki çalkantı hareketinin tank hareketinin, sıvı derinliği ve yoğunluğunun, tank şeklinin bir fonksiyonuna bağlı olduğunu göstermiştir. Ayrıca tank içindeki çalkantı hareketi son yıllarda birçok çalışmada merak konusu olmuştur (Brar and Singh 2014, Akyildiz and Unal 2005, Sanapala et al. 2018, Akyildiz and Unal 2006, Armenio and La Rocca 1996).

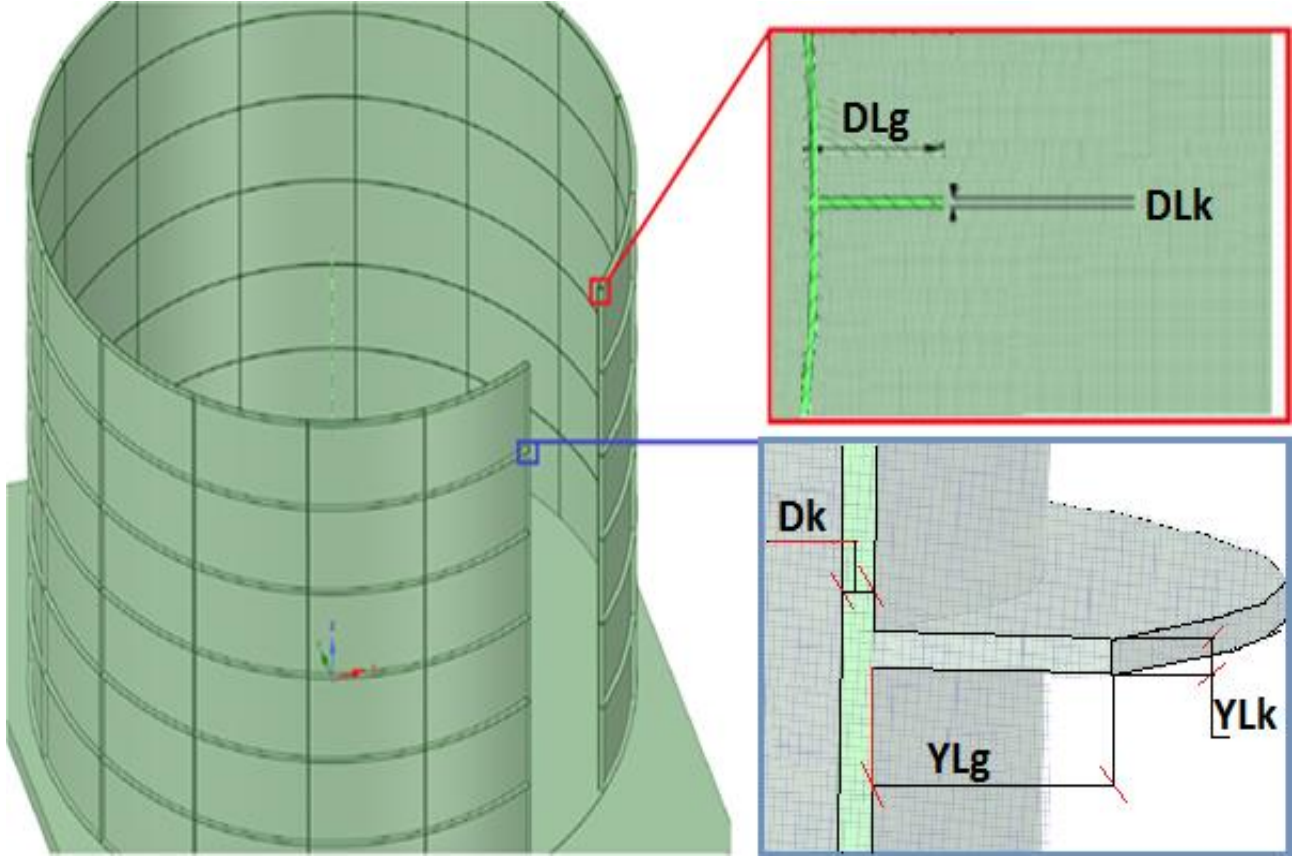
Problemin non-lineer olan doğası analitik ve sayısal bir çözüm üretilmesi konusunda zorluklar çıkartmaktadır. Bu sebeple bazı varsayımlarda bulunmak gerekmektedir. Bu durum ise elde edilen verileri gerçek durum ve sonuçlardan biraz uzaklaştırmaktadır. Bu sebepten dolayı deneysel çözümler çalkantı hareketinin incelenmesinde büyük bir rol oynamaktadır. Bu şartlar altında bazı araştırmacılar yukarıda bahsedildiği gibi deneysel çalışmalar ve özellikler sunmuşlardır (Panigrahy et al. 2009).

Sıvı çalkantısının rezonans durumunda olması yapısal stabilitenin kaybına ve saklama yapısının duvarlarında hasara yol açabilecek bir durumdur. Gözenekli levhalar ile çalkantı durumuna karşı enerji sönümlenmesinin yapılabileceği ve çalkantı hareketinin duvarlara uygulayabileceği kuvvetin azaltılabileceğini belirtmişlerdir (Zang et al. 2019).

## 2. Materyal ve Metot

Tank çapı ve yüksekliği, sıvı yüksekliği sabit tutularak, tank geometrisi değiştirilmesi ile sistemde meydana gelen reaksiyonlar çalışılmıştır.

Meydana gelen bu reaksiyonlardan deformasyon ve gerilme verileri elde edilmiştir. Ayrıca hidrostatik etki ve dinamik etki yapıya birlikte etkilenmiştir. Modellenen silonun genel görünümü ve çalışmada kullanılan boyutsal parametreler Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Silo modelinin genel görünümü ve boyutsal parametreleri

Silonun farklı periyotları için gerilme durumlarını ortaya çıkarmak için hidrostatik ve dinamik yük altındaki taşıyıcı sistem rijitleştirme levhaları ile güçlendirildi. Böylece levha durumları değiştirilerek, çapı ve yüksekliği sabit kalan yapının yatay rijitliği ve doğal periyotları değiştirildi. Sistemin boyutsal parametreleri Şekil 1'de verilmiştir. Modelin 12000mm yüksekliği, 12500mm çapı

bulunmaktadır. Yapı duvar kalınlığı (Dk) 20mm seçilmiştir. Sistem yatay ve düşey rijitleştiriciler ile güçlendirilmiştir. Güçlendirici levhaların derinliği (DLg, YLg) 150mm olup 20mm et kalınlığına (YLk, DLk) sahiptirler. Levha sayısı ve yerleşimi değiştirilerek altı farklı varyasyon modellenmiştir. Modellerin tipleri ve boyutsal parametreleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Sayısal modellerin boyutsal parametreleri

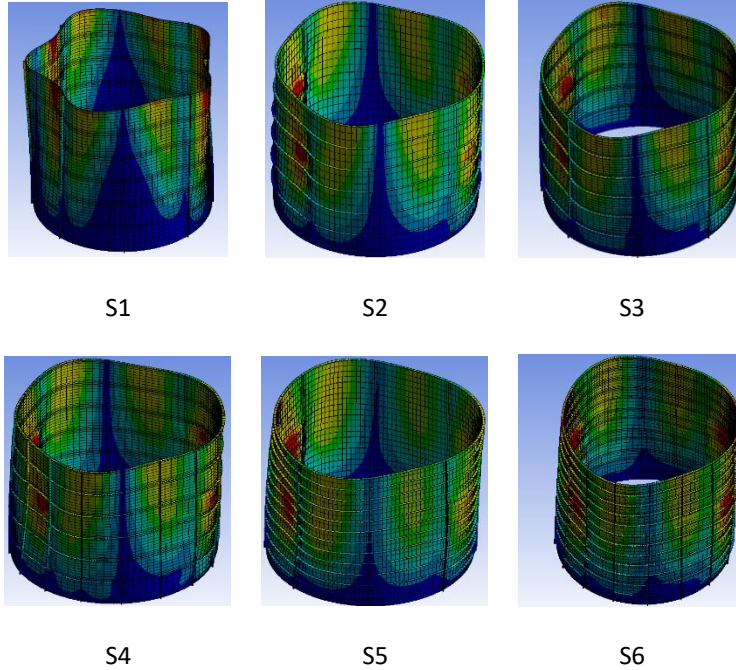
Model Numarası	Düşey Levha Sayısı (adet)	Yatay Levha Sayısı (adet)	DLg (mm)	YLg (mm)	Su Seviyesi (mm)	YLk (mm)	DLk (mm)	Dk (mm)
S1	8	-	150	-	7000	20	20	20
S2	-	6	-	150	7000	20	20	20
S3	8	6	150	150	7000	20	20	20
S4	16	6	150	150	7000	20	20	20
S5	8	12	150	150	7000	20	20	20
S6	16	12	150	150	7000	20	20	20

Sayısal modellerin dış yüzeyi yatay ve düşey rijitleştirici levhalar kullanılarak rijitleştirildi. Şekil 1 ve çizelge 1’de belirtildiği üzere levha yerleşimleri düşey ve yatay olarak ayrılmaktadır. Bu kapsamda 6 model oluşturulmuştur. Modellerde öncelikle düşey rijitleştiriciler kullanılmıştır. Düşey rijitleştiriciler, silo dış yüzeyine silo yüksekliği boyunca yerleştirilmiştir. Modeller S1, S3, S5 de 8 adet, S4 ve S6 da 16 adet kullanılmıştır olduğu kombinasyondur. S5 modelinde 8 düşey 12 yatay levha kullanılmıştır. S6 ve S4 modelleri kullanılan yatay levha sayısı bakımından birbirlerinden ayrılmaktadırlar. S6 ve S4 mod. S3, S4, S5 ve S6 modellerinde yatay ve düşey rijitleştiriciler birlikte kullanılmıştır. S4 modeli 16 düşey 6 yatayın ellere ikisinde de 16 düşey levha bulunurken S6 modelinde 12 adet ve S4 modelinde 6 adet yatay levha bulunmaktadır. Çizelge 1’de her model için rijitleştirici levhaların boyutsal parametreleri sunulmuştur. Bu çalışmada sıvı çalkantısı dinamik analiz durumları farklı sayıdaki

rijitleştiricilere sahip sayısal modeller için değerlendirildi. Analizler için Ansys Workbench sonlu elemanlar programı kullanılmıştır.

### 3. Araştırma Bulguları

Çembersel geometride tasarlanan bu yapılar farklı sayılarda yatay ve düşey yönlerde rijitleştirme levhaları kullanılarak rijitleştirildi. Yapının dış yüzeyindeki rijitleştirici yerleşimine bağlı olarak yapının doğal titreşim periyotları değişikliğe uğramıştır. Sabit su yüksekliği, sabit dalga yükü altında rijitleştirme levhalı sıvı depolama tankının yapısal davranışının incelendiği bu çalışmada yönce ve sayıca değişen levhaların boyutsal belirleyici olduğu altı adet sayısal model elde edilmiştir. Dalga yükü altında yapısal davranışın tanımlanması için deformasyona uğramış durumlara ait genel görünüm Şekil 2’de verilmiş, deforme olmuş durum plan görünümü Şekil 3’te gösterilmiştir.



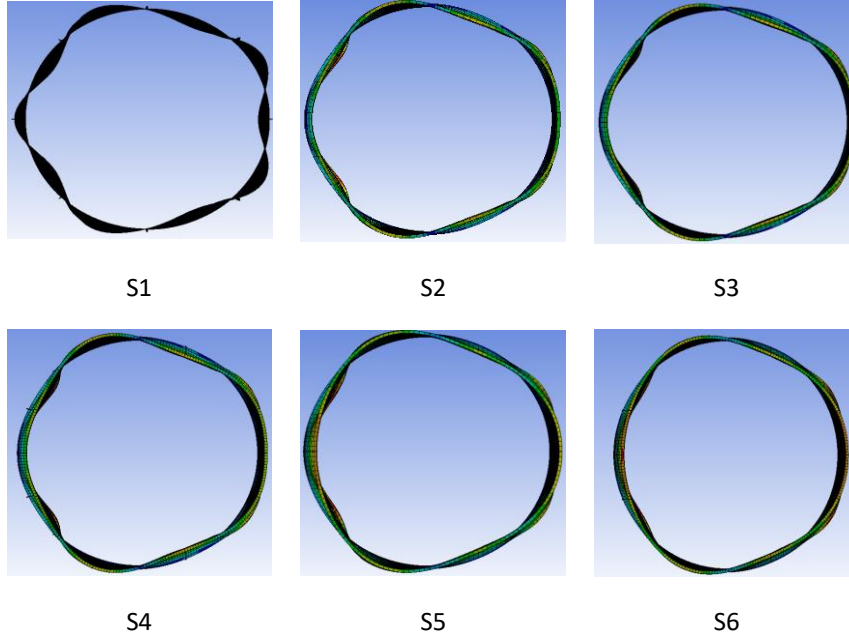
Şekil 2. Sayısal modellerin deformasyon durumlarının genel görünümü

Çalışmada kullanılan sayısal modellerin birlikteliklerinin davranışa yansımaları 6 ve 12 adet yatay ve düşey levhanın farklı sayısal kombinasyonlarda kullanımı ile genel görümler üzerinden ifade edilmiştir. Bu kapsamda S1 modeli 6 adet düşey durumu olup sergilediği deformasyon şekil itibarı ile en değişken geometrik form elde edilmiştir. Sadece düşey levhaların kullanıldığı

durum olan S2 modeli ise dairesel bir formun elips şeklindeki yer değiştirme yatkınlığını bozmamıştır. Bununla birlikte düşey levhaların sayıca arttığı diğer modellerde yapısal davranış daha tutarlı olup, deformasyona uğramış durumdaki değişken geometrik form, daire ekseninde kalmıştır. Bu kapsamda durum değerlendirildiğinde; dairesel bir forma sahip bir sıvı depolama tankında, yatay ve

düşey levhaların birlikte kullanımı, yapısal davranışı pozitif yönde etkilemektedir. En etkili durumlar düşey levhaların dairesel geometriye 8'li yerleşim ve

üstünde elde edilmiştir. Bu durum, deformasyona uğramış siloların plan görünümünün verildiği Şekil 3'te de görülmektedir.



Şekil 3. Sayısal modellerin deformasyon durumlarının plan görünümü

Plan görünümeler incelendiğinde, en az düşey levhanın olduğu S1 modeli silo cidarı "M" tipi dalgalanma gösterirken, düşey levhanın sayısının arttığı diğer modellerde bu davranış, silo cidarının bütünsel davranışı şeklinde deformasyona uğramasını sağlamıştır. Bu kazanım silo cidarındaki

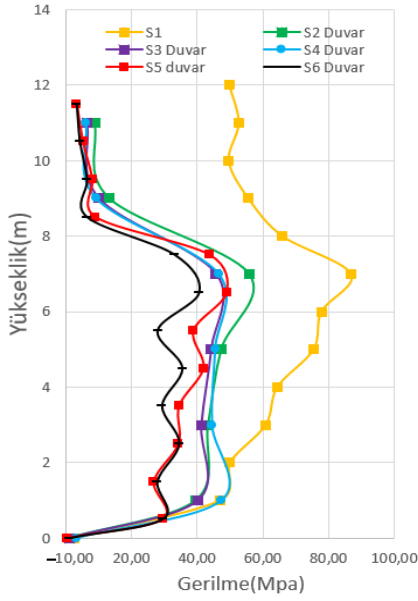
istenmeyen gerilme yığılmalarının önüne geçecektir. Çalışmada sisteme eklenen levhaların yapısal davranışa etkisini değerlendirmek için her duruma ait ilk üç doğal titreşim periyotları elde edilmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Modellerin ilk 3 mod periyot değerleri (saniye)

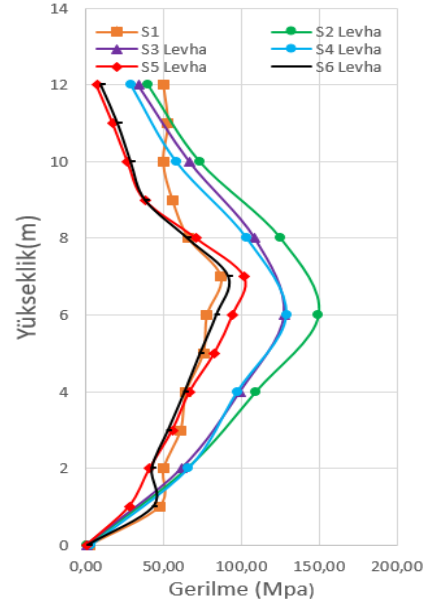
S1	S2	S3	S4	S5	S6
0,217547	0,105982	0,102467	0,097656	0,088472	0,084459
0,207495	0,105696	0,100576	0,096367	0,086222	0,084331
0,176134	0,089638	0,088464	0,086889	0,085778	0,082912

Çizelgede belirtilen periyot değerleri incelendiğinde, yetersiz sayıda, yani dairesel geometride sadece 8 adet düşey levha bulunduran ve yatay levha bulundurmeyen geometrik formun, yapısal davranışa bir kazanım getirmekten çok, zarar verdiği görülmektedir. Bu durum elde edilen deformasyon grafiklerinde de görülmüştür. Ancak sisteme eklenen dairesel form için yatay levha diziliminde yapısal davranış kendini toparlamakta ve yeter rijitlik olan 0,1 saniyenin altında sonuçlar vermektedir. Sistemde kullanılan rijitleştirme

levhalarının sistem davranışı üzerine katkısını incelemek için, silo cidarı ve levha üzerinden gerilme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler, yükseklik boyunca aynı noktalardan alınmış olup, karşılaştırma düzlemi elde edilmiştir. Bu kapsamda Şekil 4'te verilen gerilme dağılımları incelendiğinde; levha üzerindeki gerilme değerlerinin, silo cidarındaki gerilmelere oranla daha doğrusal bir eğimde sonuçlar verdiği görülmektedir.



Tüm modeller için duvar gerilmeleri

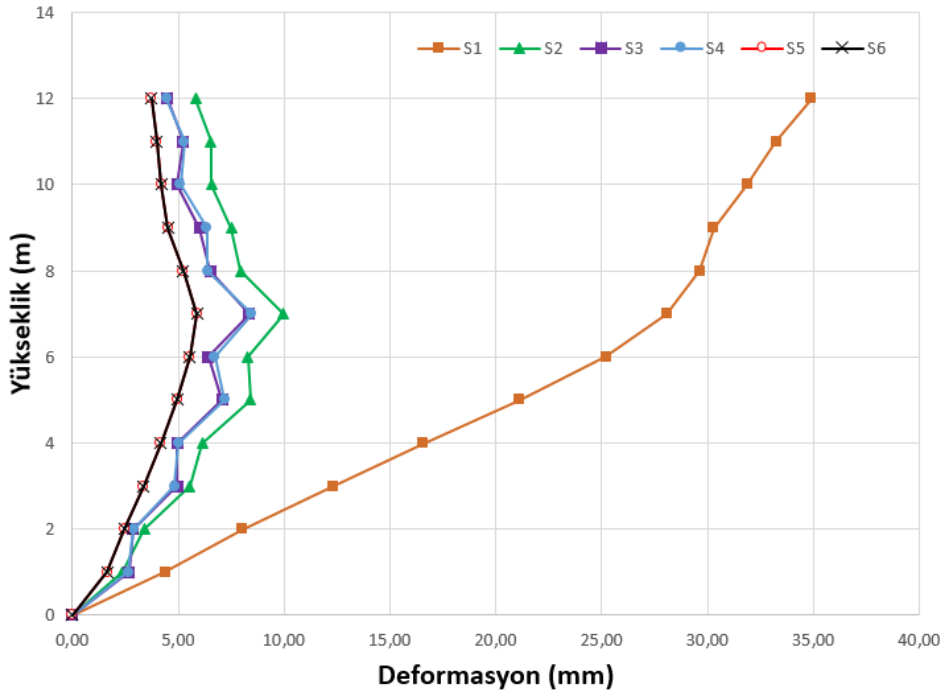


Tüm modeller için levha gerilmeleri

**Şekil 4.** Yüksekliğe bağlı gerilme grafikleri

Buna karşın silo cidarındaki değerler zikzaklı bir dağılımdadır. Bu zikzaklı dağılımda, yatay kuşakların deplasman (yerdeğiştirme) sınırlamasından kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca Grafiklerde, düşey levhalı durum için elde edilen maksimum gerilme değerlerinin yükseklikçe silo ortasına geldiği ve pik değere ulaştığı görülmektedir. Buna karşın, silo cidarında ise maksimum gerilmenin silo yüksekliğince doğrusal gittiği tespit edilmiştir. Burada ki sonuçlarda da düşey levhanın tek başına

etkin olmadığı, yatay levha ile birlikte çalıştığına performansı olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Grafiklerde en iyi sonuçlar yine sayıca yatay levhanın yüksek olduğu ve düşey levhalı ile birlikte olduğu modellerde elde edilmiştir. Sisteme eklenen düşey ve yatay rijitleştirme plakalarının sistem davranışına katkısını incelemek için analiz sonuçlarından silo yatay deplasman değerleri elde edilmiştir. Elde edilen değerler Şekil 5'te grafiklendirilmiştir.



**Şekil 5.** Tüm modeller için yüksekliğe bağlı deformasyon grafikleri



Grafikte kullanılan sonuçlar aynı dalga yüksekliği için aynı noktadan alınan değerleri temsil etmektedir. Sonuçlar incelendiğinde; yatay levhasız sadece düşey rijitleştirme plakasının kullanıldığı S1 modelinde deplasman değerlerinin belirgin düzeyde arttığı hesaplanmıştır. Sisteme eklenen yatay levhalı tüm durumlarda deplasman kabiliyeti sınırlandırılmıştır. En etkin sonuç yatay levhanın sayıca en yüksek olduğu kombinasyon olan S6 numaralı modelde elde edilmiştir. S6 modelinde 16 adet düşey levha ile birlikte 12 adet yatay levha bulunan durumdur. S4 ve S6 da düşey levha 16 sıralı dizilimde olmasına rağmen, belirleyici etkenin yatay levha sayısı olduğu tespit edilmiştir.

#### 4.Sonuç

Silo çapı ve yüksekliği sabit tutulan modellerin, aynı su seviyesi ve sabit dalga boyu için sayısal analizlerin yapıldığı bu çalışmada, sistem düşey ve yatay yönde rijitleştirme plakaları ile güçlendirilmiştir. Sistem rijitliğini artırmak için kullanılan plakaların davranışa katkısının incelenmesi için düşey ve yatay elemanların(levhaların) yerleşim şekli ve sayısı değişken kabul edilerek 6 farklı sayısal model üzerinden analizler yapılmıştır.

Yapılan analizler neticesinde sadece düşey elemanların kullanıldığı durumlarda yapının doğal titreşim periyodunun arttığı ve yapısal davranışın M tipi bir deformasyona yöneldiği görülmektedir. Sadece düşey levha kullanılan versiyonda yapı doğal titreşim periyodunun arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte yapısal davranış M tipi dalgalanma geometrisinde bir davranış sergilemiştir. Yatay levhaların eklendiği durumlarda periyot belirli bir şekilde azalmış ve yapısal davranış bütüncül olarak deformasyona uğramıştır.

Yapısal periyotça en rijit olan durum düşey ve yatay levhaların birlikte kullanıldığı modellerde elde edilmiştir. Gerilme dağılımları bakımından değerlendirildiğinde yüksek sayıda levhalı modeller genel olarak daha az gerilmeye maruz kalmıştır.

Bu kapsamda düşey rijitleştirme levhalarının tek başlarına kullanılmasının yapısal formu bozduğu ve davranışça avantaj sağlamadığı görülmüştür. Bu durum, düşey levhalar ile birlikte kullanıldığında

kısmi olarak sönmülmüş ve gerilmeler daha geniş bir alana yayılmıştır. Yatay ve düşey levhaların beraber kullanılması durumlarında deformasyon ve gerilme değerlerinin, sadece yatay ve sadece düşey kullanılan durumlardan çok daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sebeple yatay levhalı sistemlerin düşey levhalar ile birlikte kullanıldığı takdirde daha ekonomik çözümler üretilebileceği düşünülmektedir.

#### 5.Kaynaklar

- Akyildiz, H. and Unal, E., 2005. Experimental Investigation of Pressure Distribution on a Rectangular Tank due to Liquid Sloshing. *Ocean Engineering*, **32**, 1503-1516.
- Akyildiz, H. and Unal, N. E., 2006. Sloshing in a Three-Dimensional Rectangular Tank: Numerical simulation and experimental validation. *Ocean Engineering*, **33**, 2135-2149.
- Akyildiz, H., Ünal, N. E. and Taylan, B., 2012. Experimental Investigation of the Liquid Sloshing in a Rigid Cylindrical Tank. *IMO Technical Journal*, 6089-6112.
- Akyildiz, H. and Unal, E., 2014. Experimental Investigation of the Liquid Sloshing in a Cylindrical Tank Under the Rolling Motion. *Journal of ETA Maritime Science*, **2**, 131-142.
- Armenio, V. and La Rocca, M., 1996. On the Analysis of Sloshing of Water in Rectangular Containers: Numerical Study and Experimental Validation. *Ocean Engineering*, **23**, 705-739.
- Biswal, K. C., Bhattacharyya, S. K. and Sinha, P. K., 2006. Non-Linear Sloshing in Partially liquid filled containers with baffles. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, **68**, 317-337.
- Brar, G. S. and Singh, S., 2014. An Experimental and CFD Analysis of Sloshing in a Tanker. *Procedia Technology - ICIAME*.
- Özel, K., 2007. Çelik Hububat Silolarının Tasarım Esasları. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, 170.
- Panigrahy, P., Saha, U. and Maity, D., 2009. Experimental Studies on Sloshing Behavior due

to Horizontal Movement of Liquids in Baffled Tanks. *Ocean Engineering*, 213-222.

Raouf, A. I., 2005. Liquid Slosing Dynamics Theory and Applications. New York: Cambridge University.

Sanapala, V., M., R., Velusamy, K. and Patnaik, B., 2018. Numerical Simulation of Parametric Liquid Slosing in a Horizontally Baffled Rectangular

Container. *Journal of Fluids and Structures*, 229-250.

Zang, Q., Fang, H., Liu, J., Lin, G., 2019. Boundary element model for investigation of the effects of various porous baffles on liquid sloshing in the two dimensional rectangular tank. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 484-500.